

## ⑫ 特許公報(B2)

昭63-7867

⑬ Int. Cl.

B 22 D 11/04  
1/00  
11/04  
11/10  
27/02

識別記号

1 1 4  
3 1 1  
3 5 0

庁内整理番号

6735-4E  
C-6977-4E  
E-6735-4E  
E-8617-4E  
8414-4E

⑭公告 昭和63年(1988)2月18日

発明の数 2 (全15頁)

⑮発明の名称 金属鑄造装置およびその製造方法

⑯特 願 昭57-134810

⑰公 開 昭58-25853

⑱出 願 昭57(1982)8月3日

⑲昭58(1983)2月16日

優先権主張 ⑳1981年8月3日㉑米国(US)㉒289572

㉓発 明 者 ジョナサン・エー・ダ  
ンツイグアメリカ合衆国コネチカット州ハムデン・ブリアークリ  
フ・ロード61㉔発 明 者 デレク・イー・タイラ  
ーアメリカ合衆国コネチカット州チエシャー・ジニー・ヒ  
ル・ロード399㉕出 願 人 アルマックス・インコ  
ーポレイテッドアメリカ合衆国カリフォルニア州サン・マテオ, サウス・エ  
ル・カミノ・ロード 400

㉖代 理 人 弁理士 鈴江 武彦

外2名

審 査 官 西 義 之

㉗参 考 文 献 特開 昭56-26661(JP, A)

特開 昭50-150640(JP, A)

特開 昭54-95924(JP, A)

1

## ⑳特許請求の範囲

1 熱および電気伝導性材料より成る鋳型と、この鋳型内の溶融金属を混合する電磁的手段とを具備し、この電磁的手段により前記鋳型材料中に電流が生成する鑄造装置において、

前記鑄造装置は前記溶融金属のマトリックスで囲まれた変質した樹状晶1次固体粒子を含む半固体スラリーを生成する装置であり、

前記鋳型はそれに誘起された渦電流の電流路長を最小にするために、鋳型壁に垂直な磁束の方向および鋳型内で電磁的に移動する溶融金属の運動方向の両者に対して垂直な渦電流の流通方向に対してほぼ垂直に延在して渦電流の流通を阻止する電気絶縁性部分を具備し、それによつて前記鋳型により生じる磁気誘導損失が実質上減少され溶融金属混合率が増加されることを特徴とする鑄造装置。

2 前記鋳型の熱および電気伝導性材料が複数の金属の積層体で構成され、前記電氣的絶縁手段がそれら積層体の各層を相互に電氣的に絶縁する手

2

段より成っている特許請求の範囲第1項記載の装置。

3 前記積層体に固定され溶融金属と熱的に接触する芯体スリーブを具備している特許請求の範囲第2項記載の装置。

4 前記電磁的手段は或る角周波数の電源から電流を供給され、或る進入の深さを有する磁界を発生し、前記芯体スリーブは前記進入の深さのほぼ3分の2より小さい厚さを有している特許請求の範囲第3項記載の装置。

5 前記芯体スリーブが積層体に固着された導電性材料の管より成る特許請求の範囲第4項記載の装置。

6 前記芯体スリーブが積層体に鍍金された導電性材料のシートより成る特許請求の範囲第4項記載の装置。

7 前記鋳型が内壁と外壁とを有する管状容器から成り、前記電気絶縁性部分が前記外壁から前記内壁のすぐ近くまで延在する複数のスリットから成り、前記積層体はこれらスリットにより分離さ

3

れた前記鋳型の複数の部分によつて構成されている特許請求の範囲第2項記載の装置。

8 前記スリットに非導電性材料が充填されている特許請求の範囲第7項記載の装置。

9 前記電磁的手段が或る角周波数の電源から電流を供給され、或る進入の深さを有する磁界を生成し、前記スリットは前記内壁から前記進入の深さの約3分の2より短い距離の位置まで延在している特許請求の範囲第7項記載の装置。

10 前記電磁的手段が第1の方向に流れる誘起渦電流を生じ、前記電気絶縁性部分が前記第1の方向を横切るように配置され、それにより前記誘起された渦電流の少なくとも或程度のものの流れを阻止する阻止体が形成されて誘起された電流の電流路長の少なくとも一部の長さが最小にされている特許請求の範囲第1項記載の装置。

11 前記電磁的手段が或る角周波数の電流を供給され、或る進入の深さを有する磁界を発生させ、前記積層体の各層の厚さは前記進入の深さより小さい特許請求の範囲第7項記載の装置。

12 前記積層体の各層の厚さは前記進入の深さの3分の1より小さい特許請求の範囲第11項記載の装置。

13 前記電気絶縁性部分は積層体の各層体の少なくとも一方の表面に設けられた酸化物層より成り、それにより電流路長の実質上全部が最小にされている特許請求の範囲第2項記載の装置。

14 熱および電気伝導性材料より成る鋳型と、この鋳型内の溶融金属を混合する電磁的手段とを具備し、この電磁的手段により前記鋳型材料中に電流が生成する鋳造装置の製造方法において、

前記鋳造装置は前記溶融金属のマトリックスで囲まれた変質した樹状品1次固体粒子を含む半固体スラリーを生成する装置であり、

前記鋳型は、

鋳型壁に垂直な磁束の方向および鋳型内で電磁的に移動する金属の運動方向の両者に対して垂直なそれに誘起された渦電流の流通方向に対してほぼ垂直に延在する金属の層体より成る金属の積層体を形成する工程と、これらの積層体の各層体を互いに絶縁する工程とによつて形成されることを特徴とする溶融金属のマトリックスで囲まれた変質した樹状品1次固体粒子を含む半固体スラリーを生成する鋳造装置の製造方法。

4

15 積層体に溶融金属と熱的に接触する芯体スリーブを固着させる特許請求の範囲第14項記載の方法。

16 積層体に導電性材料の管を固着させる特許請求の範囲第15項記載の方法。

17 積層体に導電性材料のシートを鍍金する特許請求の範囲第15項記載の方法。

18 内面と外面を有する管状容器に外面から内面のすぐ近くに達するスリットを複数切込み、それによつてスリットにより分離された前記管状容器の部分により積層体を構成させる特許請求の範囲第14項記載の方法。

19 各スリットに非導電性の絶縁材料を充填する特許請求の範囲第18項記載の方法。

20 前記層体を電氣的に絶縁する工程において、積層体の各層体の少なくとも一方の表面に酸化物層を被覆する特許請求の範囲第14項記載の方法。

発明の詳細な説明

この発明は鋳造或は鍛造に使用される半固体金属スラリーを製造する装置に関する。

従来知られている半固体チクソトロピック金属の製造方法には機械的攪拌法および電磁攪拌法がある。なお以下の説明において金属とは合金を含むものとする。適切な構造のそのようなスラリーを製造するプロセスは攪拌によつて生じる剪断速度と鋳造されつつある材料の固化速度との間のバランスを必要とする。

機械的攪拌法による製造法はFlemings氏等による米国特許第3902544号、同第3954455号、同第3948650号明細書およびMehraban氏等の米国特許第3936298号明細書に記載されている。機械的攪拌法による製造法はまたFlemings氏等による論文AFS International Cast Metals Journal、1976年9月号第11乃至22頁、およびFascetta氏等の論文AFS Cast Metals Research Journal、1973年12月号第161乃至171頁にも記載されている。Feurer氏等の西ドイツ公開特許公報OLS 2707774号(1977年9月1日発行)には機械的攪拌による方法が若干異なつた装置で示されている。

機械的攪拌法では溶融金属は冷却および混合容器中で環状空間中へ下方に流れる。ここで金属は部分的に固化され、一方では中央の混合用ロータ

一の回転により攪拌されて鋳造のための所望のチクソトロピック金属スラリーを形成する。機械的攪拌法は幾つかの解決できない問題を有している。ローターと混合容器壁との間に形成された環状空間はチクソトロピックスラリーの流量を低い値に制限する。ローターの腐蝕に対する材料の問題も存在する。連続鋳造システムに機械的攪拌を結合させることは困難である。

従来技術による連続鋳造プロセスでは混合容器は直冷式鋳型の上に配置されている。混合容器から鋳型への金属の移送は酸化を生じさせる可能性がある。これは酸化を受け易いアルミニウムのような反応性の合金を処理する場合には特に重大な問題である。

スラリーはチクソトロピックであり、したがって連続鋳造鋳型中へ流入させるためには高い剪断速度が必要である。機械的攪拌法を使用して中断された流れおよび／または不連続の固化によるフローラインを同様に得ることができる。機械的攪拌法はまた約30～60%の固体を含む半固体金属スラリーを生じる範囲に制限される。固体の比率を少なくすれば流動性は改善されるが固化の完成する間に不所望な粗大な樹状品の成長が増加する。攪拌器がスラリー中に浸漬されるために固体の比率を著しく増加させることは不可能である。

上述の問題を打破するために誘導電磁攪拌法がWinter氏等により米国特許第4229210号（特開昭54-95924号公報）として提案された。この特許においては機械的攪拌法の欠点を克服するために2つの電磁攪拌技術が示されている。Winter氏等は交流誘導或はパルス化した直流磁界の何れかを使用して固化中の金属溶融体の間接攪拌を行なっている。この電磁攪拌による間接的な性質は機械的方法の欠点を改善するものであるが、依然として攪拌技術の特性により生じた限界を有している。

交流誘導攪拌によると、最大電磁力および関係する剪断は誘起された電流の侵入の深さによって制限される。したがって効果的に攪拌できる断面の寸法は溶融体の周辺から内部に向つての誘起した力の減衰によって制限される。これは特に固化シェル（shell）が存在する時に悪化する。誘導電磁攪拌プロセスはまた大きな電力消費を生じ、攪拌された金属の抵抗加熱も著しい。抵抗加熱は

固化のための放熱量を増加させる必要を生じる。

パルス化された直流磁界技術もまた効果的なものである。しかしながら、その力のフィールドは直流電極からの距離が増加すると急激に発散するために所望するほど効果的なものではない。したがって適切な構造のスラリーを確実に製造するための所望の高い剪断速度と流体のフローパターンを生じるためには複雑な幾何学的構造が要求される。このプロセスでは大きな磁界が必要であり、それ故装置は高価になり容積も大型となる。

前述のFlemings氏等の米国特許明細書ではチクソトロピックスラリーを製造するために使用することのできる多くの代替攪拌技術の1つとして電磁攪拌の使用についても簡単に言及している。しかしながらスラリーを製造するために実際に電磁攪拌をどのようにして行なうか何等示唆していない。Feurer氏等に対する西ドイツ公開特許公報においては電磁界によつて溶融体を攪拌するように電磁界を発生させるために混合容器の周辺に誘導コイルを配置することが可能であることを示唆している。しかしながら電磁攪拌を機械的攪拌に付加しようとするのかそれに置換しようとするのか明らかにされていない。何れにしてもFeurer氏等は誘導電磁攪拌技術について示唆しているに過ぎない。

溶融した金属の鋳造中に電磁攪拌技術を適用する処理を行なう技術は従来から多くのものが発表されている。米国特許第3268963号、第3995678号、第4030534号、第4040467号、第4042007号、第4042008号、および第4150712号各明細書およびJournal of Metals 1976年9月号のSzekely氏等の論文Electromagnetically Driven Flows in Metal Processingには囲んで設けられた誘導コイルによつて発生された誘導電磁攪拌を使用した金属鋳造技術が示されている。

誘導電磁攪拌の欠点を克服するために回転磁界のような鋳型或は鋳造体の軸に垂直な方向に移動する磁界を使用することによつて実質上生産性を増大させ、連続鋳造技術に適用してもあまり複雑にならないで電磁攪拌をより効果的に行なうことができることが発見された。

鋳造中の溶融金属の攪拌に回転磁界を使用することは例えば米国特許第2963758号、同第2861302号および英国特許第1525036号ならびに第1525545

号各明細書に記載されている。米国特許第2963758号では静止鋳造と連続鋳造の両者が示されており、溶融金属は回転磁界によつて電磁的に攪拌されている。1個以上の多極モータステータが溶融金属を攪拌して微細な粒状組織の金属鋳造体を得るために鋳型或は鋳造体の周囲に配置される。この明細書に記載された連続鋳造の実施例では6極のステータが鋳型の軸を中心に配置され、2個の2極ステータがそれに続く固化しつつある鋳造体の周囲に配置されている。

従来の技術においては電磁攪拌プロセスにおける鋳型の逆の影響が認められている。金属鋳型は磁気誘導損失を生じることにより磁界の攪拌力を弱める傾向がある。従来の技術では充分の攪拌効果が得られるように鋳型の厚さを制御し、および/または低い周波数で動作させるような解決策が示唆されている。Dussart氏の米国特許第4150712号明細書では薄くされた銅板に取り付けられた前面壁に形成された溝を有する冷却ボックスから成る鋳型を使用することによつて攪拌効率を改善している。

機械的攪拌或は誘導電磁攪拌の何れかを利用してチクソトロピックスラリーを製造する従来の技術の欠点の幾つかは2極多相モータステータにより発生する回転磁界によつて溶融金属を攪拌することによつて克服することができる。このような回転磁界によればチクソトロピック半固体金属スラリーを製造するための所望の高い剪断力を得ることが可能となる。

この発明は半固体金属スラリーを形成するための方法および装置に使用する改善された鋳型に関するものである。この発明の鋳型は溶融材料を攪拌するのに使用される磁界によつて鋳型材料中に誘起される電流の少なくとも一部のものの電流路の長さを最小にするために誘起される渦電流の方向に対してほぼ垂直に延在して渦電流の流通を阻止する電氣的絶縁手段を備えている。このようにして鋳型により生じる磁気誘導損失は減少され、電磁攪拌処理の効率は改善される。この発明の鋳型は多数の型式の金属鋳造システムで使用する

ことができる。この発明の第1の実施例によれば完全に積層された鋳型が電気絶縁材料によつて分離された金属の積層体によつて形成される。別の構造では積層

された鋳型は熱伝導性材料のシートより成る芯体を備えている。別の代りの実施例では鋳型は金属の管で構成され、その管は誘起した電流の路長を最小のものとするための手段として作用するようにそれに切込まれた多数のスリットを有している。

したがつて、この発明の目的は、半固体チクソトロピック金属スラリー鋳造用の効率の改善された製造方法および装置を提供することである。

この発明の別の目的は溶融材料の攪拌が強化された上述の製造方法および装置を提供することである。

この発明の別の目的は、磁気誘導損失を減少させるための改善された鋳型構造を有する上述の製造方法および装置を提供することである。

この発明のさらに別の目的は、鋳型材料自体内に生じるうず電流の少なくとも一部の電流路長を最小にするための改善された鋳型構造を有する上述の製造方法および装置を提供することである。

これ等およびその他のこの発明の目的は添附図面を参照にした以下の説明によりさらに明瞭になるであろう。

この発明の技術的背景としてスラリー鋳造に使用するため半固体チクソトロピック金属スラリーを形成するために使用される多くの技術が発表されている。ここで使用されるスラリー鋳造という語は後で処理されるためのビレット或はスラリーから形成されたダイキャストのような直接所望の構造に半固体チクソトロピック金属スラリーを形成することをいうものとする。

この発明は主としてそのような材料を直接使用するか或は鋳造および鍛造のような種々の応用に後に使用するためにスラリー鋳造材料を提供しようとするものである。スラリー鋳造の利点については従来の文献に充分に記載されている。それ等の利点には通常のダイキャストに比較して鋳造の欠陥が改善されることが含まれている。これは金属が鋳型に流入するとき部分的に固体であり、したがつて収縮による空孔が発生することが少いことによるものである。スラリー鋳造に関連して鋳型の腐蝕や熱衝撃も減少するため機械部品の寿命も改善される。

チクソトロピックスラリーの金属組成はばらばらの1次固体粒子とそれ等を囲むマトリックスか

ら成っている。囲んでいるマトリックスは金属組成が完全に固体である時には固体であり、金属組成が部分的に固体で部分的に液体スラリーである時には液体である。1次固体粒子は一般に球状の縮退した樹状晶或は団塊から成る。1次固体粒子は完全に固化した状態の合金中のそれ等を囲むマトリックスの平均組成と異なる平均組成を有する単相或は複数の相より成る。マトリックス自体はさらに固化することによって1以上の相を構成する。

通常の固化した合金は温度が減少し固体の重量比率が増加するに従ってからみ合った網状に成長する分岐した樹状晶を有している。それに反して、チクソトロピック金属スラリーは固体の重量比率が80%までの液体金属によって相互に分離されたばらばらの1次縮退樹状晶粒子から成っている。1次固体粒子は縮退した樹状晶であり、それ等は平滑な表面を有し、通常の樹状晶より分岐構造が少く球形に近い形状を有する点に特徴がある。それ等を囲む固体マトリックスは1次固体粒子の形成に続く液体マトリックスの固化中に形成され、より普通に行なわれている処理中に液体合金の固化中に得られる型式の1以上の相を含んでいる。固化したマトリックスは樹状晶、1相或は多相の化合物、固溶体、或は樹状晶および/または化合物および/または固溶体の混合物で構成されている。

第1図を参照するとチクソトロピック金属スラリーを連続的或は半連続的にスラリー鋳造する水平連続鋳造装置10が示されている。円筒状の鋳型12はそのような連続的または半連続的スラリー鋳造に適している。鋳型12は後述するように任意所望の非磁性金属例えばオースチナイトステンレス鋼、銅、銅合金、アルミニウム、アルミニウム合金等で形成することができる。

第7図を参照すると鋳型壁14が本質的に円筒状であることが判る。この発明による方法ならびに装置10は攪拌に通常の2相多相インダクションモータを使用して円柱状インゴットを製造するのに特に適したものである。しかしながら図示しない非円形断面の鋳型を使用しその横断方向或は周辺に沿って移動する磁界により攪拌することも可能であるから円柱状のインゴットの形成に限定されるものではない。

鋳型12内に溶融材料が供給装置16によって供給される。溶融材料供給装置16は部分的に図示した炉18、樋20、溶融材料流量制御装置または弁22、吐出管24および容器26を備えている。制御装置22は樋20から吐出管24を通じて容器26に流入する溶融材料の流量を制御する。制御装置22はまた容器26内の溶融材料の高さを制御する。その代りに溶融材料が直接容器26に炉18から供給されてもよい。溶融材料は容器26から導管28を経て水平に移送され導管28は鋳型12の入口に連通している。

固化した鋳造物すなわちインゴット30は引出機構32によって鋳型12から引き出される。引出機構32は鋳造物すなわちインゴットに対してそれを鋳型部分から引き出すための駆動装置を構成する。鋳型12中への溶融材料の流入速度は鋳造物すなわちインゴット30の引き出しによって制御される。引出機構32として任意の適当な通常の装置が使用できる。

冷却マニホールド34が鋳型壁14の周辺に配置されている。図示のマニホールド34は第1の入力室38およびそれと狭い溝42によって連通している第2の室40を備えている。冷媒ジャケットスリーブ44は非導電材料で作られマニホールド34に取り付けられている。放出口46は冷媒ジャケットスリーブ44と鋳型12の外周48との間の間隙によって画定される。一様な冷媒(好ましくは水)のカーテンが鋳型12の外周48の周囲に形成される。冷媒は鋳型12の内壁36を通過して溶融材料から熱を取り去すように作用する。冷媒は放出口46から出て固化しつつあるインゴット30に直接放出される。適当な弁装置50が設けられてスラリーSの固化する速度を制御するために水その他の冷媒の放出の流量を制御する。装置10では手動の弁装置50が示されているが所望ならば電動式の弁装置その他適当な弁装置を使用することができる。

鋳型12中に注がれる溶融材料は鋳型12の外周48にそれを囲むマニホールド34から注がれる流水によって制御された条件に従って冷却される。鋳型外周48に沿って流れる水の割合を制御することにより鋳型内の溶融材料からの熱の放出速度は部分的に制御される。

所望のチクソトロピックスラリーを形成するた

めに鋳型 1 2 内の溶融金属材料を攪拌する手段を設けるために 2 極多相誘導電動機ステータ 5 2 が鋳型 1 2 を囲んで配置されている。ステータ 5 2 は積層鉄心 5 4 を具備し、それに通常の方法で所望の巻線 5 6 が巻回されており、3 相誘導電動機ステータとなるように構成されることが好ましい。ステータ 5 2 は電動機室 M 内に設置されている。異なる周波数および振幅の電流および電力を与えるために任意の適当な手段が使用できるが、電力および電流は可変周波数電源装置 5 8 によつてステータ 5 2 に供給されることが好ましい。マニホールド 3 4 およびステータ 5 2 は鋳型 1 2 およびその内部に形成される鋳造体インゴット 3 0 の軸 6 0 と同軸に配置されている。

2 極 3 相インダクションモータステータ 5 2 を使用することが好ましい。2 極モータステータ 5 2 の利点の 1 つは鋳型の全断面に互つて磁界のゼロの部分がないことである。それ故この発明によりその全断面に互つて所望のスラリー鋳造構造を有する鋳造物を固化させることが可能である。

再び第 7 図を参照すると、回転磁界攪拌法により発生した剪断効果が示されている。フレミングの右手の法則により図の平面に垂直な方向の所定の電流密度  $J$  および鋳型 1 2 の半径方向内方に向う磁束ベクトル  $B$  に対して、磁気攪拌力ベクトル  $F$  は一般に鋳型壁 1 4 の接線方向を向いている。これは鋳型空洞内に矢印  $R$  の方向の溶融金属材料の回転を設定し、それはチクソトロピックスラリー  $S$  の生成に対して所望の剪断力を発生させる。力ベクトル  $F$  はまた熱の流出方向に垂直であり、それ故樹状晶の成長方向に垂直である。固化範囲に互る、すなわちスラリーの中心から鋳型壁の内側までの所望の平均剪断速度を得ることによつて樹状晶が成長する時の改善された剪断が得られることになる。

溶融材料の攪拌および剪断速度は溶融材料の周縁における磁気誘導の関数である。鋳型は有効な固化に必要とされる高い熱伝導特性を有するために高熱伝導度を有する材料で作られることが好ましい。従来の技術においては典型的に熱伝導性の材料で作られており、それは誘起された磁界の可成の部分吸収する傾向がある。この鋳型による吸収効果は誘起された電流の周波数の増加に従つて増加することが知られている。その結果従来技

術による鋳造装置では効率よく動作させるために使用される周波数に限界があつた。

この発明による鋳型は鋳型自身中に誘起される電流の効果を減少させることによつて磁気誘導損失を減少させるものである。これは鋳型の実質上全部ではなくとも少なくとも一部分においては誘起した電流またはうず電流の電流路の長さを最小のものにすることによつて行なわれる。うず電流は第 7 図に示された電流  $J$  と方向と同様に磁束  $B$  の方向および溶融金属に作用する力  $F$  の方向の両者に対して垂直な、紙面に垂直な方向に流れる。したがつて、この方向に対して垂直な平面に電気絶縁層を間隔を置いて配置すればうず電流路は分断される。このようにして効果的にうず電流路を消去することによつて磁気誘導は実質上阻止されないで鋳型を貫通することができるようになる。それ故溶融材料に対する攪拌効果は増強され、そのプロセスの効率率は改善され、その一方では誘起電流周波数の広い範囲に互つて動作させることができる。さらに所要の鋳型の放熱特性は実質上影響されない。

第 2 図を参照するとこの発明の鋳型の第 1 の実施例が示されている。完全に積層された鋳型は金属または金属合金の層体 6 2 の積層によつて構成されている。層体 6 2 は任意の所望な形状のものでよい。第 2 図の実施例では層体 1 2 はリング状に構成されている。各層体 6 2 は相互に電気絶縁材料によつて分離されていることが好ましい。電気絶縁材料は各層体の上面 6 4 および/または下面 6 6 に通常の種々のワニスや被覆を被覆して構成することができる。ワニスの代りに図示していない酸化層を各層体の表面に使用することもできる。酸化層は酸化アルミニウムその他の適当な酸化物被覆のような耐熱性酸化物被覆で構成することができる。酸化層は表面にスプレーする等の適当な方法で層体に適用することができる。その代りに各層体を図示していない絶縁性のシートまたは層で分離することもできる。1 枚以上の絶縁性シートが隣接する層体の間に挿入されてもよい。絶縁性シートは任意の適当な材料、すなわちアスベスト、マイカ、フロロカーボン、フェノール樹脂、ポリ塩化ビニル、ポリカーボネート等のようなプラスチック等で作ることができる。

ステータ 5 2 は鋳造軸 6 0 を中心に回転する磁

界を生成する。誘起された電流は誘起電流と反対方向に流れることは周知である。誘起電流が方向Aに流れる時、鋳型中に誘起される電流は反対の方向Bに流れる。電気絶縁材料は誘起された電流の通路を遮断するように設けられている。第2図の実施例では電気絶縁材料は誘起された電流の方向に実質上垂直な平面にある。このようにして電気絶縁材料は誘起された電流に対する障壁として作用し、それによつて誘起された電流の通路長を最小にし、実効的に鋳型中における磁気誘導損失を消滅させる。第2図の完全に積層された鋳型においては誘起された電流の実質上全てが最小の通路長を持つようにされる。

各層体62は侵入の深さ $\delta$ に対して厚さ $\Lambda$ を有する。侵入の深さは誘起磁界が $1/e$ に減衰する位置までの鋳型外壁からの距離である。厚さ $\Lambda$ は使用される範囲内の周波数に対して侵入の深さより小さくなければならない。厚さ $\Lambda$ はそのような周波数に対して侵入の深さの約3分の1より小さいことが好ましい。侵入の深さ $\delta$ は次式により与えられる。

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\omega \sigma \mu_0}} \quad (1)$$

ここで

$\omega$  = 角周波数

$\sigma$  = 鋳型材料の電気伝導度

$\mu_0$  = 鋳型材料の導磁率

積層体の厚さの選択は鋳型により示される必要な電気特性によつて影響される。使用される大部分の周波数に対して $\Lambda$ は約2.54cm (1インチ)までの値を持つことができる。しかし $\Lambda$ は約0.08cm (約1/32インチ)乃至約0.95cm (約3/8インチ)の範囲が好ましい。

鋳型はまた熔融金属材料の固化を行なわせるのに充分の熱伝導特性を持たなければならない。これ等の熱伝導特性は電気絶縁材料層または被覆の厚さの決定に影響する。鋳型の熱伝導能力は鋳型の熱コンダクタンスにより特徴づけられる。一般に電気絶縁材料は熱の良伝導体ではないから電気絶縁材料を具備する鋳型はそのような電気絶縁材料を有しない鋳型よりも熱コンダクタンスが小さい。鋳型中の非導電性材料の量が増加するに従つて鋳型の熱コンダクタンスは減少する傾向があ

る。所望の鋳型の熱伝導特性を得るために電気絶縁材料の層または被覆は積層体の厚さと略々同じ厚さを持つことができる。これ等の層または被覆の厚さは約0.0025cm (約1ミル)から約0.95cmの間であることが好ましい。

管状鋳型は層体を1個ずつ積み重ねてそれ等を互に結合することによつて形成される。層体62は数個所に微細粒子を置いて相互に融着させてもよい。しかしながら絶縁ワッシャーを介在させたボルトとナットによる結合のような任意の適当な結合手段が層体の結合に使用できる。鋳型は所望の長さを有する。鋳型の全体の壁の厚さは鋳型の所望の電気および熱伝導特性の関数である。全体の鋳型壁の厚さは約2.54cm (1インチ)までのものが使用できるが約0.32cm (1/8インチ)から約1.91cm (3/4インチ)の範囲であることが好ましい。

鋳型12の別の実施例が第3図に示されている。この実施例は芯体スリーブ68を除けば第2図と実質上同一の積層された鋳型より成る。間に電気絶縁材料を有する層体の積層体70は第2図の実施例と同じ方法で構成されている。積層体は適当な方法で互に結合することができ、適当な厚さを有している。電気絶縁材料も適当な厚さを有している。積層体および電気絶縁材料の厚さは前述のように鋳型に必要とされる電気および熱伝導特性によつて影響され、第2図の実施例に関連して説明した範囲内であることが好ましい。

芯体スリーブ68は熱伝導性材料の薄いシートまたはシエルより成ることが好ましい。シートは熱収縮適応、熱伝導性接着剤のような任意の適当な機構によつて積層体に固着させることができる。その代りに芯体スリーブ68は積層体70の内面に鍍金した銅、クローム等の材料で構成されてもよい。芯体スリーブ68は鋳型の鋳造能力を阻害しない清浄な接触面を与えるようにするものである。芯体スリーブ68は任意の所望の厚さのものでよい。しかしながら、その厚さは使用される周波数に対して侵入の深さ $\delta$ の約2/3よりも小でなければならない、約1/3より小さいことが望ましい。侵入の深さ $\delta$ は式(1)により決定される。この範囲の厚さを有することにより芯体スリーブ68による磁界の吸収は実質上無くなり、磁界は実質上妨げられることなく鋳型を通過する。芯体ス

15

リーブは約1.91cm (3/4インチ) までの厚さにするとよく、1ミルから約0.64cm (1/4インチ) の範囲であることが望ましい。

第3図の鋳型においては電気絶縁材料だけが誘起した電流の或程度の部分のものの電流路を遮り、その長さを最少のものとする。芯体スリーブ68中で誘起した電流は実質上鋳型の全長に亘って流れる。しかしながらそのような誘起電流の磁界に及ぼす影響は減少される。磁界に対する影響が何故減少するのか充分明らかではないけれども、芯体スリーブ68の厚さが薄いため大きな断面を有する鋳型に比較して高い抵抗を持ち、そのため電流が減少するものと考えられる。

第3図の鋳型は任意所望の長さを有するものでよい。第3図に示されたような型式の鋳型によつて全体としての鋳型の磁気誘導による吸収効果は標準型式の鋳型のそれに比較して減少される。それ故溶融金属の電磁攪拌は通常の電磁攪拌処理に較べて強化される。

第4図は積層鋳型12の別の実施例を示している。この実施例では鋳型は任意所望の長さを有するアルミニウム、アルミニウム合金、銅、銅合金、オーステナイトステンレス鋼等のような材料の固体の管76で構成されている。管76は外壁80から始まり内壁82から小距離の位置まで延在するスリット78の配列を設けられている。この実施例ではスリット78は誘起された電流路を最小のものとする空隙型の電気絶縁体として作用している。もし所望ならばスリット78はエポキシのような適当な非導電性材料で充填されてもよい。スリット78は鋳型が有する必要がある熱伝導特性によつて影響されるような幅を有している。スリット78の幅は積層体の層体と同じ厚さにすることができる。スリットの幅は約1ミルから約0.95cmの範囲であることが好ましい。

第4図の実施例ではスリット間の鋳型材料の部分77が積層体の層体を形成している。部分77は鋳型に対して機械的な強度を附加している。これ等の部分は厚さ $\Lambda$ を有し、それは使用される周波数に対する侵入の深さ $\delta$ よりも小さい。この侵入の深さ $\delta$ は前述の(1)式により与えられるものである。部分77の厚さ $\Lambda$ は使用周波数に対する侵入の深さの約3分の1以下であることが好ましい。厚さ $\Lambda$ は約2.54cm (1インチ) までのものが

16

使用できるが略々0.08cm (1/32インチ) 乃至0.95cm (3/8インチ) の範囲であることが好ましい。

前述のようにスリット78は外壁80から内壁82に近い位置まで切込まれている。この点は内壁から侵入の深さの略々3分の2以下の距離にあり、使用される周波数における侵入の深さの約3分の1より小であることが好ましい。このようにして管76は一体の連続した部分83を有し、それは侵入の深さの約3分の2以下の厚さであり、使用される周波数における侵入の深さの約3分の1以下であることが好ましい。この厚さは略々1.91cm (3/4インチ) までよいが、略々1ミルから略々0.64cm (1/4インチ) の範囲であることが好ましい。

第3図の実施例と同様に部分77に誘起した電流はスリット78によつて遮られ、電流路は最小にされる。部分83に誘起した電流は実質上鋳型の全長を流れる。しかしながら部分83に誘起された電流の磁界に及ぼす効果は減少される。充分解明されているわけではないが、内側の部分83の厚さが薄いため大きな断面の厚さを有する鋳型に較べてずっと大きな抵抗が生じるものと考えられる。これはその結果として電流を減少させ磁界に対する電流の影響を減少させる。これに関して全体としての磁気誘導吸収効果は標準型式の鋳型のそれに比較して減少される。それ故溶融金属の電磁攪拌は通常の電磁攪拌に較べて強化される。

第5図は磁界が鋳造体の軸60に平行である装置中で使用される鋳型を示している。そのような磁界を生成するために攪拌コイル75は一般に周縁に沿って移動する誘起電流を有する。鋳型は第2図乃至第4図の実施例に示されたような電気絶縁材料の阻止層によつて分離された実質上垂直に積層された積層体で構成されている。電気絶縁材料は誘起した電流の電流路に実質上垂直に配置されている。この装置において誘起した電流の少なくとも相当の部分の電流路長は最小にされ、磁気誘導吸収は実質上消滅する。もしも所望ならば内壁は芯体スリーブ74を有していてもよい。芯体スリーブ74は導電材料の薄いシートまたはシエル或は薄い鍍金層で構成することができる。積層された層体、絶縁材料および芯体スリーブの厚さは前述のようにして決定される。

ステータ52により発生された攪拌力のフィー



ルドは溶融金属およびチクソトロピック金属スラリーSの固化領域全体に拡がっている。他方鑄造体の構造はスラリー鑄造構造を有するステータ52の磁界内の領域とスラリー鑄造構造でない傾向を有するステータ磁界の外側の領域とより構成されている。第1図の実施例では固化領域は鋳型の入口からスラリーSと固化した鑄造体30とを分けている固化前面84まで延在している鋳型内の溶融金属とスラリーSとの溜め部分から構成されている。固化領域は少なくとも鋳型空洞86中の固化およびスラリー形成の最初に始まる領域から固化前面84まで延在する。

通常の固化状態下ではインゴット30の周縁は柱状樹状品の粒状構造を有している。そのような構造は望ましいものではなく、インゴット断面の大部分を占めているスラリー鑄造構造の全体としての利点を害するものである。この外側の樹状晶層の厚さを実質上消滅或は減少させるために鋳型の入口領域の熱伝導度はセラミックのような熱絶縁体で形成された第6図に示されたような部分的鋳型ライナー88によつて減少させられる。セラミックの鋳型ライナー88は鋳型カバー92の絶縁ライナー90から下方の鋳型空洞86中に延在し、2極モーターステータ52の磁気攪拌力フィールドが少なくとも部分的にセラミック鋳型ライナー88と交叉するような長さで延在している。セラミック鋳型ライナー88は鋳型12の内側の形状と一致したシエルであり鋳型壁14に取り付けられている。鋳型12はセラミックライナー88によつて画定された低熱伝導性の入口側の部分と鋳型壁14の露出された部分によつて画定された高熱伝導性の部分とを有する構造である。

ライナー88は、溶融金属が強い磁気攪拌力の領域に置かれるまで固化を遅らせる。ライナー88に基づく低い熱抽出速度は一般に鋳型12のその部分における固化を阻止する。一般に固化はライナー88の下流端附近或はその直後を除いては生じない。この低熱伝導性の領域88はそれによつて生成される鑄造体インゴット30がその断面全体に亘りその外面まで縮退した樹状品構造を有するようにすることを助長する。

所望ならば鋳型の熱特性を熱絶縁バンドによつて改善することもできる。すなわち第6図に示すように鋳型12の冷却水側の外壁48に熱絶縁材

料の層またはバンド94を選択的に設けることによつて行なわれる。熱絶縁材料層またはバンド94は鋳型12を通つて転送される熱を減少させ、それによつて固化速度を低下させて固化の内方への成長を減少させる。

熱伝導性を減少させた領域の下方に水冷式金属鑄造鋳型壁14が存在する。鋳型12のこの部分に関連した高い熱転送速度はインゴットシエルの形成を促進する。しかしながら低熱抽出速度の領域のために鑄造体インゴット30の周縁のシエル部分でさえもマトリックスで囲まれた縮退した樹状品で構成されている。

鑄造体の表面において所望のスラリー鑄造構造を形成するために最初に固化成長したものを鋳型ライナー88から実効的に剪断することが好ましい。これはモーターステータ52による磁界が少なくとも固化が最初に開始される部分まで拡がっていることが確保されることによつて達成される。

鋳型12の周縁に垂直に最初に形成される樹状品はインダクションモーターステータ52の回転磁界によつて生じる金属の流によつて容易に剪断することができる。剪断された樹状品は固化前面によつて捕捉されるまで攪拌され続け、縮退した樹状品が形成される。縮退した樹状品はまた直接スラリー内で形成されることもできる。それは溶融体の回転攪拌作用は樹状品の選択的な成長を許容しないからである。これを確実にするためにステータ長52は固化領域の全長を越えて延在することが好ましい。特にステータ52による攪拌力磁界は固化領域の全長および全断面に亘つて所望の剪断速度を生じるような充分の大きさを与えるものであることが好ましい。

第1図の装置を使用してスラリー鑄造体インゴット30を形成するために溶融金属が鋳型空洞86に注がれ、一方モーターステータ52は所望の振幅および周波数の3相交流電流で付勢される。溶融金属が鋳型空洞に導入された後、ステータ52によつて生じた回転磁界により連続的に攪拌される。固化は鋳型壁14に接する部分から開始する。静止している鋳型壁14の部分或は固化前面の部分で最も高い剪断速度が生じる。従来知られている任意所望の手段によつて固化の速度を適当に制御することによつて所望のチクソトロピック

スラリー S が鋳型空洞 8 6 内に形成される。固化シエルが鋳造体インゴット 3 0 上に形成されるに従って引出し機構 3 2 が動作し、鋳造体インゴット 3 0 を所望の鋳造速度で引き出す。

この発明の実施例に示した各種の積層鋳型はまた垂直型のチクソトロピックスラリー鋳造システムで使用することもできる。

説明した攪拌プロセスにおいて 2 つの競合するプロセスすなわち剪断と固化が制御される。この発明の電磁的方法および装置により生じた剪断作用は機械的攪拌によつて得られるものと等しいか或はそれよりも大きい。磁気誘導回転磁界の周波数と溶融金属の物理的性質が組合されてその結果運動を決定するようなプロセスを支配するパラメータが発見された。プロセスと溶融体の両者の上記性質の寄与は次のような 2 つのディメンション群、すなわち  $\beta$  と  $N$  の式によつて要約することができる。

$$\beta = \sqrt{j\omega\sigma\mu_0 R^2} \quad (2)$$

$$N = \frac{\sigma R^2 \langle B_r \rangle_0^2}{\eta_0} \quad (3)$$

ここで

$$j = \sqrt{-1}$$

$\omega$  = 角周波数

$\sigma$  = 溶融体の電気伝導度

$\mu_0$  = 溶融体の透磁率

$R$  = 溶融体の半径

$\langle B_r \rangle_0$  = 鋳型壁における半径方向の磁気誘導

$\eta_0$  = 溶融体の粘度

第 1 の群  $\beta$  は磁界の幾何学的効果の尺度である。一方、第 2 の群  $N$  は磁気駆動力と関連する速度フィールドとの間の結合係数として示される。パラメータ  $N$  の関数として  $\beta$  の単一の値に対して計算された速度と剪断フィールドが決定できる。

これ等の決定から剪断速度は鋳型の外側附近で最大であることが発見された。この最大の剪断速度は  $N$  の増加に従つて増加する。さらにこの発明の鋳型を使用することにより鋳型の磁気誘導吸収効果は減少し、溶融金属周縁の半径方向磁気誘導  $B_{rms}$  は増加する。結論として最大剪断速度は増加する。

剪断は溶融体中でも発生することが認められた。何故ならば周辺の境界すなわち鋳型壁は剛体であるからである。それ故固化シエルが存在する

と溶融体中の剪断応力は液相固相境界面で最大である。さらに剪断応力が常に前進する境界面に存在するため適切な縮退した樹状晶のスラリー鋳造構造を全断面に亘つて有するインゴット 3 0 を製造することが可能である。

この発明の鋳型の有効性を試験するために、鋳型はこの発明の幾つかの実施例に従つて構成された。各鋳型は 3 相モータのステータ内に同軸に配置され、ステータの中心における磁界が測定された。同様の測定が空のステータすなわち鋳型の存在しない状態のステータおよび長さ約 15.24 cm (6 インチ)、厚さ約 0.635 cm (1/4 インチ) の標準の固体アルミニウム管型の鋳型ならびに実質上同じ内径の積層体鋳型を配置したステータについて行なわれ比較された。

第 2 図のような完全に積層された鋳型は厚さ約 0.16 cm (1/16 インチ)、内側の半径約 4.76 cm (1 - 7/8 インチ)、外側の半径約 5.72 cm (2 - 1/4 インチ) のアルミニウムリングを積層して形成された。各リングは約 3 ミルの厚さの絶縁ワニス塗布されて積層された。リングは一体に結合され、約 15.24 cm の長さの円筒管状鋳型が形成された。

アルミニウム積層鋳型 (第 4 図参照) は長さ約 15.24 cm、内側半径約 4.76 cm、外側半径約 5.72 cm のアルミニウム管から形成された。幅約 0.081 cm (0.032 インチ) のスリットが多数切り込まれた。スリットは外側から管の内壁の約 0.16 cm (1/16 インチ) 手前まで切り込まれた。スリットの間の管の部分の厚さは約 0.16 cm であった。

銅の積層鋳型がアルミニウム積層鋳型と同様にして製作された。銅積層鋳型は 1% の Cr を含む残りは本質的に Cu から成る銅合金で作られた。

約 60、150、250 および 350 Hz の電源周波数および約 25 アンペアまでのステータ電流に対して鋳型の内壁或は溶融金属の周縁部における磁界が各形式の鋳型および鋳型の存在しないすなわち空のステータの状態について測定された。第 8 図は溶融体の外縁部或は鋳型内壁における磁気誘導とステータ電流との関係を標準のアルミニウム鋳型の場合、60、150、250 および 350 Hz の周波数について示したものである。第 9 図乃至第 11 図は同じ周波数についてアルミニウム積層鋳型、銅積層鋳型および完全に積層された鋳型の場合の磁気誘導とステータ電流との関係を示している。第 11 図の

完全に積層した鋳型に対する磁気誘導対ステータ電流曲線は空のステータの状態に対する測定結果(図の鎖線の曲線)と同一である。

第12図は各型式の鋳型についてディメンションのない数 $B_{mold}/B_{nomold}$ と周波数との関係を示す曲線により磁気誘導を比較したものである。この図から各積層鋳型に対して測定された磁界はあらゆる周波数において標準のアルミニウム鋳型に対して測定された磁界より大きいことが認められる。

この発明のプロセスを行なうために適当な剪断速度は少なくとも約400/秒から約1500/秒であり、少なくとも約500/秒から約1200/秒であることが好ましい。アルミニウムおよびその合金に対しては約700/秒から約1100/秒の剪断速度が望ましいことが認められた。

鋳型内の溶融金属の固化温度範囲を通じての平均冷却速度は毎分約0.1°Cから毎分約1000°Cの範囲でなければならず、毎分約10°Cから毎分約500°Cの範囲が好ましい。アルミニウムおよびその合金に対しては毎分約40°Cから毎分約500°Cの範囲の平均冷却速度が適当である。

この発明のプロセスを遂行するためのパラメータ $|\beta^2|$ ( $\beta$ は(2)式で定義されている)は約1乃至10でなければならず、約3乃至7が適当である。

この発明のプロセスを遂行するためのパラメータ $N$ ( $N$ は(3)式で定義されている)は約1乃至1000でなければならず、約5乃至200であることが好ましい。

約2.54cm(1インチ)乃至25.4cm(10インチ)の半径を有するアルミニウムの鋳造の場合の周波数は約3乃至3000Hzでなければならず、約9乃至2000Hzであることが好ましい。

必要な磁界強度は電源周波数および溶融体の半径の関数であり、約50乃至1500ガウスでなければならず、アルミニウムの鋳造については約100乃至600ガウスであることが好ましい。

使用された特定のパラメータはチクソトロピックスラリーを生じるために所望される剪断速度を得るために金属システムによつて変化する。

この明細書中で使用されている固化領域とは固化が行なわれる鋳型中の溶融金属またはスラリーの領域を云うものである。

ここで使用される磁気流体力学とは移動または回転磁界を使用して溶融金属或はスラリーを攪拌するプロセスを表わすものである。磁気攪拌力はこの発明の移動または回転磁界により与えられる磁氣的に駆動される攪拌力を表わすのにさらに適切なものと云えよう。

この発明によるプロセスならびに装置は、アルミニウムおよびその合金、銅およびその合金、鋼およびその合金を含む従来の鋳造技術で用いられる全ての材料に適用することが可能であるが、それだけに限定されるものではない。

以上この発明は特定の連続または半連続鋳造システムに関して説明したが、実施例の積層した鋳型は固化中に溶融体の或る程度の部分の電磁的攪拌を利用するものであれば静止型鋳造システムのような他の形式の鋳造システムにも使用することができる。

この発明によつてチクソトロピックスラリーを作るための鋳造システムに使用される改善された鋳型が提供され、それは前述の目的、手段および効果を達成するものであることは明白である。この発明は特定の実施例に関連して説明したが多くの変更、変形が可能であることは前述の説明により当業者には明白であろう。したがつてそのような変形、変更も全て特許請求の範囲に記載された発明の技術的範囲に含まれるべきものである。

#### 図面の簡単な説明

第1図はチクソトロピックス半固体金属の水平連続鋳造装置の部分的に断面図で示す概略図であり、第2図、第3図および第4図は第1図の装置中で使用されるこの発明による鋳型の第1、第2および第3の実施例の概略図である。第5図は鋳造体軸と平行な磁界を使用する鋳造装置中で使用される鋳型の上面図であり、第6図は鋳造体の固化を遅らせる絶縁バンドと熱絶縁ライナーを示す第1図の鋳型の断面図である。第7図は溶融金属に回転を生じる瞬間磁界と力の関係の説明図である。第8図は標準のアルミニウム鋳型におけるステータ電流および電源周波数に対する鋳型内壁における磁気誘導を示すグラフであり、第9図、第10図および第11図はこの発明の異なる実施例の鋳型に対する第8図と同様のグラフである。第12図は標準の鋳型とこの発明の実施例による鋳

23

24

型の磁気誘導と周波数の曲線を比較したグラフである。

10……鋳造装置、12……鋳型、14……鋳型壁、16……供給装置、18……炉、30……インゴット、32……引出機構、34……冷却マ

ニホールド、52……モータステータ、62……積層体の各層体、68……芯体スリーブ、70……積層体、78……スリット、84……固化前面、88……鋳型ライナー、94……熱絶縁体パ  
5ンド。

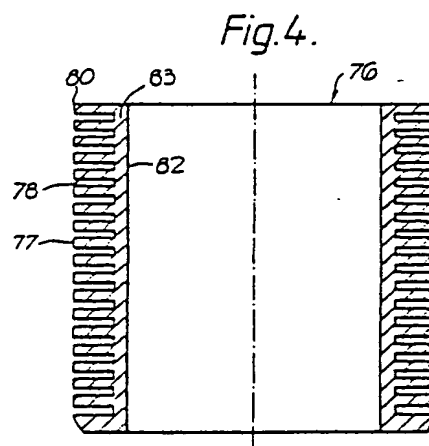
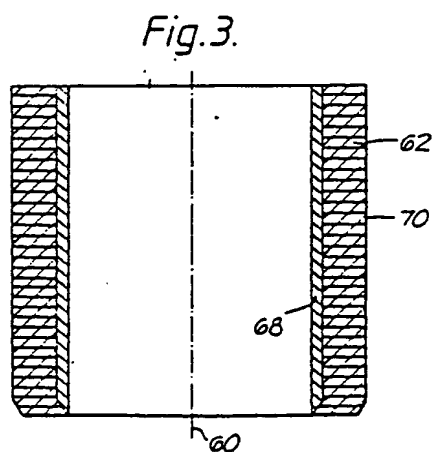
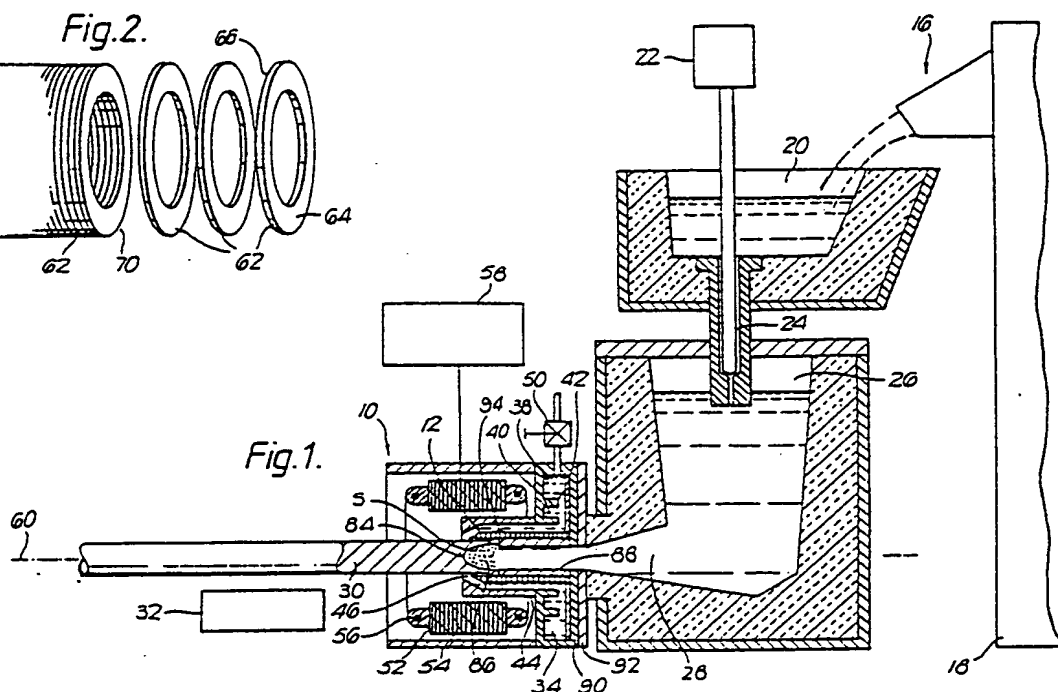
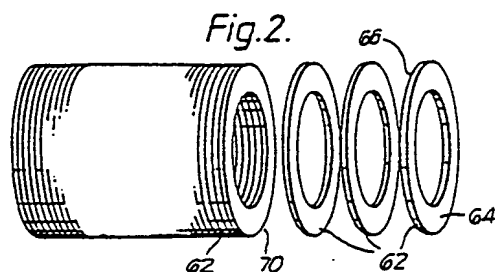


Fig.5.

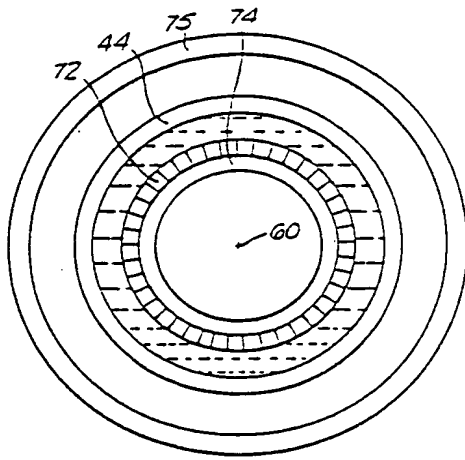


Fig. 7.

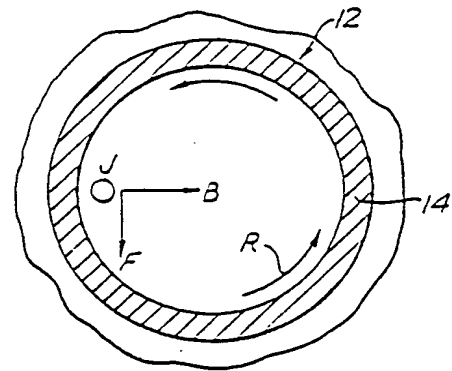


Fig. 6.

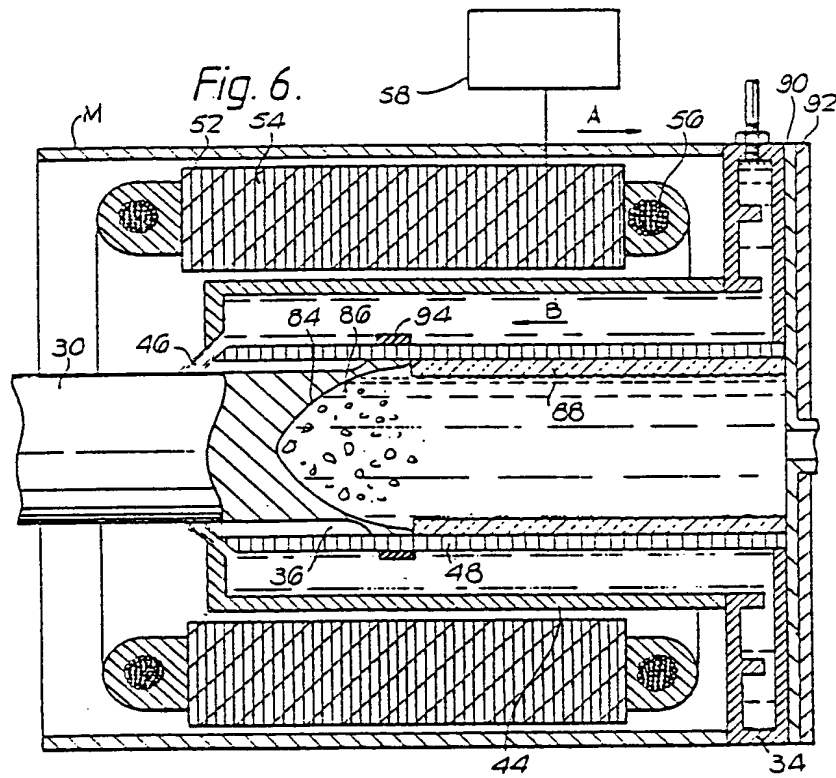


Fig. 8.

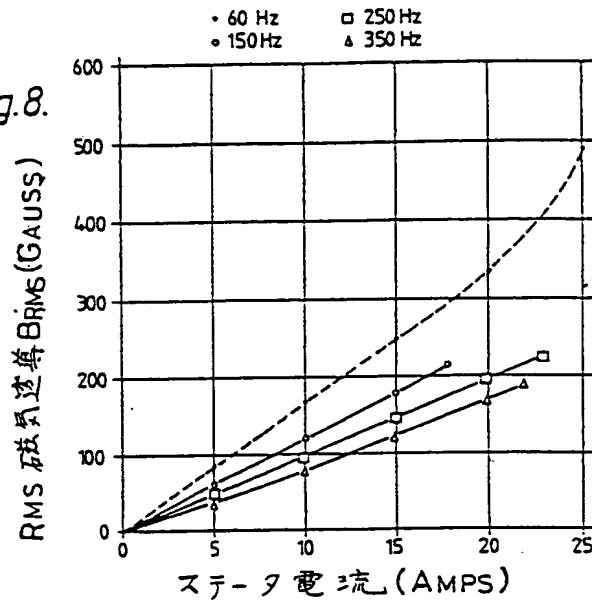


Fig. 9.

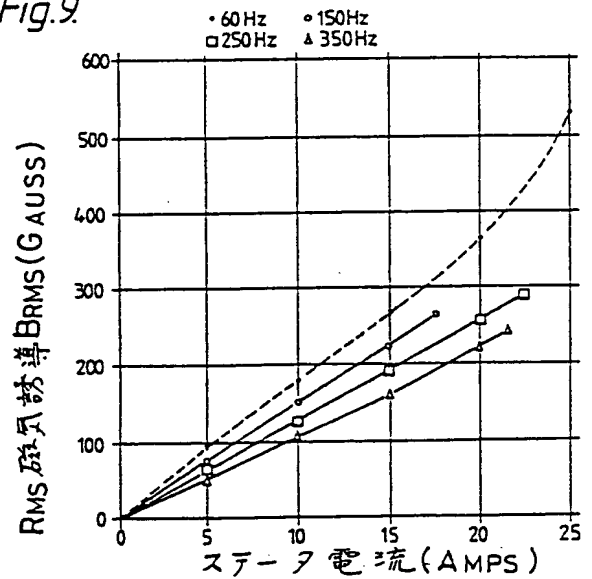


Fig. 10.

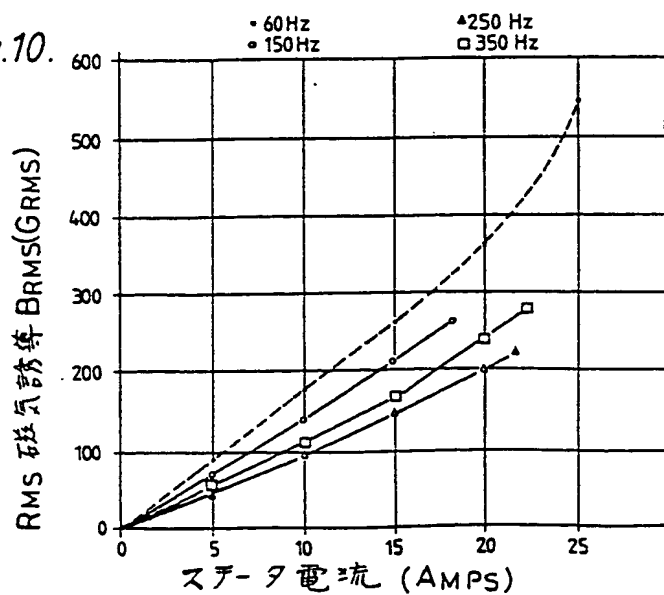


Fig.11.

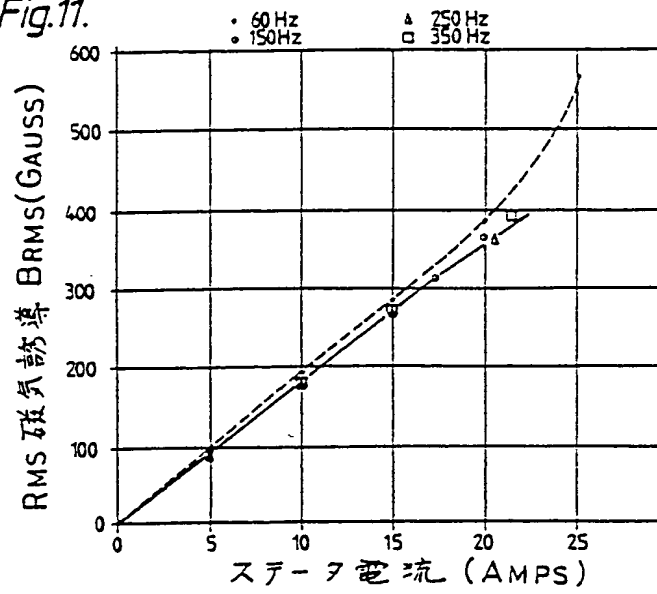


Fig.12.

